



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Antti Kultalahti

MULTICOVERIN TIIVISTYKSEN PARANTAMINEN

Tekniikka ja liikenne
2015

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Antti Kultalahti
Opinnäytetyön nimi	Multicoverin tiivistyksen parantaminen
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	38
Ohjaaja	Matti Makkonen

Opinnäytetyö tehtiin Wärtsilän Vaasan toimitusyksikön W32-tuoteryhmälle. Työn aiheena oli tutkia ja parantaa multicoverin ja side coverin alaosan välistä tiivistystä W32-rivimoottoreissa. Osien välinen tiivistepinta haurastuu moottoria ajettaessa, kunnes se rikkoontuu ja alkaa vuotaa polttoöljyä moottorin lämpölaajenemisen seurauksena.

Työn päämäärät olivat ongelman juurisyitä tarkentavien laboratoriomittausten suunnittelu, mittaustulosten analysointi ja ratkaisun kehitys tiivistyksen parantamiseksi mittaustulosten analyysin pohjalta. Mahdollisia ratkaisumalleja luonnosteltiin ja suunniteltiin 3D-mallinnusohjelmistoa apuna käyttäen.

Lopputuloksena saatiin kehitettyä ratkaisumalli, jonka ansiosta lämpölaajenevat osat voivat liikkua vapaasti, minimoiden jännitykset ja taivutukset moottorikoonpanossa. Raportoitu polttoöljyn vuoto on uudessa ratkaisumallissa estetty paremman tiivistysratkaisun avulla. Ratkaisun testausta varten on suunniteltu 3D-mallit muutetuista ja uusista osista, joita tullaan käyttämään laboratoriotesteissä. Osista on mallinnettu alustavat valu- ja koneistusmallit, joita voidaan käyttää kun ratkaisu otetaan käyttöön tuotannossa.

Laboratoriomittaukset ja niiden tulosten analysointi, joka oli yksi työn tärkeimpiä päämääriä, eivät laboratorion aikataulun venymisestä johtuen ehtineet tähän raporttiin. Mittasuunnitelma on kuitenkin luotu ja tarvittavat mittaukset tullaan tekemään lähitulevaisuudessa. Mittaustulosten avulla voidaan tarkentaa ongelman ratkaisun teknisiä yksityiskohtia jatkokehityksessä.

Avainsanat	lämpölaajeneminen, tuotekehitys, tiivistys, 3D-mallinnus
------------	----------------------------------------------------------

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Antti Kultalahti
Title	Improvements in the sealing of multicover
Year	2015
Language	Finnish
Pages	38
Name of Supervisor	Matti Makkonen

The thesis was made for the W32 product group at Wärtsilä Vaasa Delivery Centre. The subject of this thesis was to study and improve the sealing between the multicover and the lower part of the side cover in W32-inline engines. The sealant between parts becomes brittle when the motor is run, until the sealant is broken and begins to leak fuel as a result of thermal expansion.

The main goals of the thesis were the planning and analysis of the results of laboratory measurements and a solution to improve the sealing on the basis of measurement results analysis. Possible solutions were outlined and designed using 3D-modelling software as help.

As a result a solution was developed that allows unrestricted movement and minimizes the stress and bending of parts affected by thermal expansion. The new sealing solution prevents the reported fuel leakage from happening. The 3D-models of the new and improved parts were designed for the testing of the new solution in laboratory. Initial casting and machined models have been designed for the possibility that proposed solution is introduced to production.

Even though the laboratory measurements and the analysis of the measurements were the most important goal of thesis, they are not included in this thesis due the delay in the laboratory's schedule. The test plan for laboratory measurements have been created and the necessary tests will be done in the near future. With the test results, the technical details of the solution can be refined in further development.

Keywords	Thermal expansion, product development, sealing, 3D-modelling
----------	---------------------------------------------------------------

KÄSITTEET

Smart Power Generation	konsepti, jonka keskeiset osat ovat energiatehokkuus, joustava polttoaineiden käyttö ja toiminnallinen joustavuus
LNG	nesteytetty maakaasu
Huokonen	pieni kaasuontelo aineessa
Siirtymävikä	muotin osien tai muotin ja keernan väliin syntyvä valuvirhe, joka johtuu siirtymästä
Perusvoima	sähköä, jota tarvitaan käyttöön vuorokauden ympäri ilman keskeytyksiä
Puristussuhde	puristussuhde on iskutilavuuden puristustilavuuden yhteismäärän suhde puristustilavuuteen
HT-vesi	korkean lämpötilan jäähdytysjärjestelmän jäähdytysvesi
Vapaapää	moottorin pää, jossa ei ole vauhtipyörää
Jakotaso	valumuotin puoliskojen välinen taso
Keerna	hiekkasydän, jonka avulla voidaan valaa onttoja muotoja
Myötöraja	vetojännityksen suuruus, jolla materiaalin venymä alkaa kasvaa ilman, että kuormitusta lisätään

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Multicover	18
Kuvio 2. Side coverin alaosa	19
Kuvio 3. Multicover, side coverin alaosa ja hammaspyörän suojan kehys	20
Kuvio 4. Pidikkeet mittavälineille	24
Kuvio 5. Multicoverista erotettu laippa	28
Kuvio 6. Polttoleikkausmalli	29
Kuvio 7. Koneistettu polttoleikkauskappale.....	30
Kuvio 8. Valumalli	30
Kuvio 9. Koneistusmalli	31
Kuvio 10. Multicoverin testimalli.....	31
Kuvio 11. Side coverin alaosan vapaapään muutokset.....	32
Kuvio 12. Peltitiiviste	33
Kuvio 13. Testikokoonpano.....	35
 Taulukko 1. Materiaalien lämpölaajenemiskertoimia	14
Taulukko 2. Laskelmat side coverin alaosan lämpölaajenemiselle	25
Taulukko 3. RTV-silikonien vertailu.....	34

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET

KUVALUETTELO

1	JOHDANTO	8
2	WÄRTSILÄ	9
	2.1 Wärtsilän visio	9
	2.2 Organisaatio	10
3	TEORIA	11
	3.1 Dieselmoottorin perusteet	11
	3.1.1 Pääjärjestelmät	12
	3.2 Lämpölaajenemisen vaikutukset suunnitteluprosessiin	13
	3.3 Valutuotteiden suunnittelu	15
4	ONGELMAN KUVAUS	18
	4.1 Multicover	18
	4.2 Side coverin alaosa	19
	4.3 Haasteet	22
5	ONGELMAN TUTKIMUS	23
	5.1 Suoritettavat mittaukset	23
	5.1.1 Pitimet mitta-antureille	24
	5.1.2 Tarvittavat laitteet	24
	5.2 Teoreettiset laskelmat	25
	5.3 Laboratoriomittaukset	26
6	RATKAISUN KEHITYS	27
	6.1 Lähtökohdat	27
	6.2 Mallinnustyökalut	27
	6.3 Ratkaisun luonnostelu	27
7	TULOKSET	29
	7.1 Päätylaipan testimalli	29

7.2	Päätylaipan tuotantomallit	30
7.3	Multicoverin muutokset	31
7.4	Side coverin alaosan muutokset	32
7.5	Tiivistys.....	32
8	YHTEENVETO	37
8.1	Tulokset ja johtopäätökset	37
8.2	Jatkokehitys.....	37
	LÄHTEET.....	38

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Wärtsilän Vaasan toimitusyksikön W32–tuoteryhmälle, joka on osa Ship Power-liiketoimintaa. W32-tuoteryhmä kehittää 320 mm sylinterihal-kaisijalla valmistettavia moottoreita. Moottoria ajettaessa lämpölaajeneminen aiheuttaa öljyvuotoa side coverin ja multicoverin välisestä tiivistepinnasta. Opinnäytetyön aiheena oli kehittää ratkaisu multicoverin ja side coverin alaosan välisen tiivistyksen parantamiseksi. Ratkaisu suunniteltiin uusiin tuotantomoottoreihin.

Opinnäytetyö sisältää tutkimuksen lämpölaajenemisen vaikutuksiin projektiin liittyvissä osissa. Ongelman laatua tarkentavat lämpölaajenemiseen liittyvät mittaukset suoritetaan Wärtsilän laboratoriossa olevalla moottorilla. Opinnäytetyön tärkein osa ja päämäärä, oli ongelman seikkaperäinen tutkimus ja ratkaisun kehitys tutkimuksen analyysin avulla. Parannetun tiivistysratkaisun täytyi kestää lämpölaajenemisen aiheuttavat muutokset ja siten estää öljyvuodot.

Opinnäytetyö on rajattu Wärtsilän E-mallin W32–rivimoottoreiden multicoverin muutostöihin ja testeihin laboratoriossa. Työn suurin haaste oli varman ratkaisun kehittäminen tiivistyksen pitämiseksi. Valmista toteutettavaa ratkaisua ongelmaan ei ollut kehitetty ennen opinnäytetyön aloittamista.

2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä on kansainvälinen energiaratkaisujen toimittaja, jonka tavoitteena on olla kansainvälisesti johtava nestemäisten polttoaineiden ja kaasua käyttävien voimalaitosten toimittaja. Vuoden 2014 loppuun mennessä Wärtsilä on toimittanut lähes 5 000 voimalaitosta 170 maahan. Yritys työllistää 17 700 henkilöä maailmanlaajuisesti. Wärtsilä toimii 200 toimipisteessä ja 70 maassa ympäri maailmaa. Wärtsilän osakkeet on listattu NASDAQ OMX Helsingissä ja yrityksen liikevaihto oli 4,8 miljardia euroa vuonna 2014. /1/

2.1 Wärtsilän visio

Wärtsilän visio on olla asiakkaidensa arvostetuin kumppani. Visio toteutetaan toimittamalla ratkaisuja, jotka tukevat asiakkaiden liiketoimintaa tuotteen koko elinkaaren ajan. Samaan aikaan Wärtsilä kehittää yhä parempia teknologioita, joista hyötyvät sekä asiakkaat, että ympäristö. Wärtsilä säilyttää johtavan asemansa raskasöljy- ja monipolttoainevoimalaitoksissa kehittämällä valikoituja kohdemarkkinoita ja vahvistamalla arvolupaustansa. Tavoitteeseen päästään takaamalla suorituskyky, erittäin korkea hyötysuhde sekä joustavuus niin polttoaineissa kuin ope-roinneissakin.

Uutta kasvua Wärtsilä hakee uusiutuvia polttoaineita käyttävien voimaloiden markkinoilta, joille tarjotaan mahdollisuus käyttää monia eri polttoaineita. Wärtsilä tukee tuotteitaan maailmanlaajuisesti niiden koko elinkaaren ajan ja sillä luo kestävän kehityksen periaatteen, joka kertoo sitoutumisesta ja on perusta vastuulliselle liiketoiminnalle. Wärtsilän strategia rakentuu kolmelle eri alueelle: Smart Power Generation, kaasun käyttö polttoaineena ja ympäristöratkaisut. Kaikki nämä tukevat omalta osaltaan entistäkin kestävämpää tulevaisuutta energia- ja merenkulkualoilla.

/2/

2.2 Organisaatio

Wärtsilän toiminta on jaettu kolmeen eri myyntiyksikköön. Wärtsilä Ship Power toimittaa ratkaisuja ja tuotteita meriteollisuuden sekä öljy- ja kaasuteollisuuden tarpeisiin. Ship Powerin toimittamat ratkaisut ovat asiakkailleen turvallisia, ympäristömyönteisiä, tehokkaita, joustavia ja taloudellisia. Asiakkaiden vaatimukset ovat monimuotoisia, joten Ship Power räätälöi optimaaliset ratkaisut kaikkiin tarpeisiin.

Wärtsilä Power Plants on nestemäisiä sekä kaasumaisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten maailmanlaajuisesti johtava toimittaja. Voimalaitokset tuottavat perusvoimaa aina 600 MW:n tehoon saakka. Asiakaskohtaisesti toimitetut projektit tarjoavat ratkaisuja varavoimaksi ja kuormaa seuraavaan tuotantoon, sähköverkkojen vakaukseen sekä kuormitushuippujen tasaamiseksi. Wärtsilä Power Plants toimittaa myös LNG-terminaaleja ja -jakelujärjestelmiä.

Wärtsilä Services tarjoaa tukipalveluita asiakkailleen toimitetun järjestelmän koko elinkaaren ajan. Energia- ja merenkulkumarkkinoilla toimivat asiakkaat saavat toimialan kattavimman palveluvalikoiman ja laajimman jakeluverkoston. Wärtsilä Services on sitoutunut tarjoamaan laadukasta ja asiantuntevaa tukea sekä varmistamaan palveluiden saatavuus kaikkialla, missä on tarvetta. Services on yksi tärkeimmistä Wärtsilän osista, sillä se pitää asiakastyytyväisyyden korkealla.

3 TEORIA

3.1 Dieselmoottorin perusteet

Dieselmoottori on moottorityyppi, jossa ilma-/polttoaineseos syttyy kompression tuottamalla lämmöllä. Dieselmoottori eroaa kipinäsytytteisistä moottoreista, missä ilma-/polttoaineseos sytytetään sytytystulpasta syntyvällä kipinällä. Erilaisia moottorikokoonpanoja ja ratkaisuja, esimerkiksi pakokaasun ja ahtoilman kierrätykseen moottorin sisällä, on lukemattomia. Tässä osiossa esitellään yleisellä tasolla dieselmoottorin rakenteen pääosia ja niiden käyttötarkoitusta.

Nelitahtisen dieselmoottorin toimintasykli koostuu neljästä tahdistä, eli kahdesta täydestä moottorin kierroksesta. Jokaisella neljällä iskulla mäntä liikkuu joko alimasta liikkumapisteestään korkeimpaan, tai päinvastaisesti. Neljää eri toimintavaihetta kutsutaan tapahtumajärjestyksessään imutahdiksi, puristustahdiksi, työtahdiksi ja poistotahdiksi.

Vapaasti hengittävän moottorin imutahdissa mäntä liikkuu sylinterin sisällä alaspäin ja näin sylinteriin muodostuu alipaine, samalla imuventtiilin auettua sylinteri täyttyy ilmalla. Puristustahdin alkaessa imuventtiili sulkeutuu ja mäntä puristaa ilman palotilaan. Puristuessaan ilma lämpenee ja paineistuu. Tällöin puristussuhde voi olla suurimmillaan joissain ahdetuissa moottoreissa jopa 25:1, kun taas ahdetuissa laivamoottoreissa suurin puristussuhde tällä hetkellä on noin 16:1. Puristustahdin lopussa, juuri ennen kuin mäntä on ylimmässä pisteessään eli yläkuolokohdassa, palotilaan suihkutetaan dieselöljyä. Korkean paineen ja lämpötilan vuoksi ilma-/polttoaineseos syttyy räjähtäen. Räjähdyksessä syntyvä paine painaa sylinterin alakuolokohtaansa. Poistotahdin alussa pakoventtiili avautuu ja ylöspäin liikkuva mäntä painaa räjähdyksessä syntyneen pakokaasun ulos sylinteristä pakokanavaan.

Moottorilohko on moottorin runko, joka sisältää muu muassa sylinterit, männän, kampiakammion, jossa kampiakseli sijaitsee, nokka-akselin, jäähdytyskanavat, voitelukanavat ja kiinnityspisteet muille moottorin komponenteille. Mäntä, joka liikkuu palamisreaktion seurauksena, pyörittää kiertokangen avulla kampiakselia. Vauhtipyörä on raskas pyörä, johon kampiakselin energia varastoituu pyörimisliikkeen muodossa. Vauhtipyörän kautta mekaanista voimaa voidaan jakaa esimerkiksi erityyppisille pumpuille hihnan ja vaihteiston kautta. Kampiakselilta voidaan esimerkiksi jakaa voimaa jakohihnalla tai ketjulla yhdelle tai useammalle nokka-akselille, joilla ohjataan venttiilien toimintaa. /3/

3.1.1 Pääjärjestelmät

Polttoainejärjestelmän vastuulla on polttoaineen varastoiminen ja kuljettaminen korkeapaineiseen syöttöjärjestelmään. Polttoainejärjestelmään kuuluu mm. polttoainetankki, polttoaineletkut, polttoainepumppu, vedenerottimet sekä ruiskutusjärjestelmä. Polttoainejärjestelmän säädöt ovat keskeisessä osassa moottorin tasaisen ja pitkäikäisen käynnin kannalta, tähän vaikuttavat varsinkin suihkutusjärjestelmän ajoitukset ja polttoaineen laadusta huolta pitävät suodattimet.

Voitelujärjestelmä kuljettaa moottoriöljyä laakereille ja muille liikkuville osille kitkan minimoimiseksi. Moottorissa öljy tiivistää, auttaen sylinterirenkaiden pitävyyttä, samalla puhdistaa pakokaasuista jääneitä kemikaaleja sylinteritilasta. Öljyllä jäähdytetään monia osia, joten voitelujärjestelmä on myös tärkeä osa jäähdytysjärjestelmää. Voitelujärjestelmään kuuluu öljykanavat, öljypohja, joka varastoi voiteluöljyä, öljypumppu, joka kierrättää öljyä järjestelmän sisällä, öljynjäähdytin sekä suodattimet. Ilman öljyvoitelua kitka aiheuttaa lämpiämistä sekä kulumista liikkuvissa osissa. Kitkan aiheuttaman lämmön määrä on niin suuri, että ilman öljyvoitelua ensimmäiset laakerit rikkoontuvat muutamissa sekunneissa. Öljyn laadun, lämpötilan ja viskositeetin ylläpitäminen on erittäin tärkeää, sillä ilman oikeanlaista voiteluöljyä moottori rikkoontuu varmasti.

Vain alle puolet polttoaineen lämpöenergiapotentiaalista saadaan käytettyä mekaanisen liikkeen luomiseen, joten jäähdytysjärjestelmää tarvitaan kuljettamaan ylimääräistä lämpöä ulos moottorista. Noin puolet tästä ylimääräisestä lämmöstä kulkeutuu ulos pakokaasun mukana. Koska moottoria voidaan käyttää monen tyyppisissä ilmastoissa ja lämpöolosuhteissa, jäähdytysjärjestelmän täytyy olla erittäin mukautuva. Liian kuumat käyntilämpötilat kuluttavat moottorin osia, huonontavat suorituskykyä ja nostavat päästöjen määrää. Jäähdytysjärjestelmän tehtäviin kuuluu öljyn, ahtoilman ja jäähdytysveden kierrättäminen komponenttien jäähdyttämiseksi. Esimerkkejä järjestelmän osista ovat vesipumppu, jäähdytin ja termostaatti.

Pakokaasujärjestelmään kuuluu muun muassa moottorin pakokaasujen kuljetus ulos järjestelmästä tai turboahtimelle. Turboahdin lisää moottorin tehoa ottaen voimansa pakokaasusta. Ahtimen tärkeimmät osat ovat kompressorin ja turbiini. Pakokaasu pyörittää turbiinia, joka puolestaan antaa voimansa kompressorille. Kompressorin luo paineistettua ilmaa, jota voidaan johtaa imukanavasta sylinteritilaan, jolloin sylinteritilan kaasuseos on tiheämpää kuin normaalisti. Tiheämpi ilma sisältää myös prosentuaalisesti enemmän happea kuin ahtamaton ilma. Näiden tekijöiden ansiosta turboahtimen käyttö nostaa moottorin kokonaishyötysuhdetta. Pakokaasujärjestelmän tehtävänä on tuottaa ahdetussa moottorissa mahdollisimman häviötön energianlähde turbolle ja minimoida moottorimelu, pitäen samalla ilmakehään leviävien haitallisten hiukkasten määrän minimissa. Ilmankiertojärjestelmään kuuluu myös ilmansuodattimet, katalysaattori ja imu- sekä pakoputkisto. /3/

3.2 Lämpölaajenemisen vaikutukset suunnitteluprosessiin

Lämpölaajeneminen tarkoittaa materiaalin laajenemista eli tilavuuden kasvamista lämpötilan noustessa. Materiaalin lämmitessä molekyylien kineettinen energia nousee tuottaen enemmän molekyylien välistä liikettä ja kasvattaen materiaalin tilavuutta. Pituuden lämpölaajenemiskerroin on suuri, joka kertoo materiaali-kohtaisen lämpölaajenemisen suuruuden. Kaikilla materiaaleilla on siis oma lämpölaajenemiskerroin, joka on harvoja materiaaleja lukuun ottamatta aina positiivinen

(**Taulukko 1.**) Alumiinin lämpölaajenemiskerroin on $0,000\,023\,1/^{\circ}\text{C}$, eli esimerkiksi metrin mittaisen alumiinitangon pituus kasvaa yhden asteen lämpötilan nousun seurauksena $0,023\text{ mm}$. Lämpölaajenemisen kaavassa α on lämpötilakerroin, Δl on pituuden muutos, l on alkuperäinen pituus ja Δt on lämpötilan muutos (1).

$$\Delta l = \alpha l \Delta t \quad (1)$$

Materiaali	Kerroin $\cdot 10^{-6}\,1/^{\circ}\text{C}$
Tammi	54
Alumiini	23
Hopea	19
Kupari	17
Rauta	12
Timantti	1

Taulukko 1. Materiaalien lämpölaajenemiskertoimia

Lämpölaajeneminen on otettava huomioon aina kun on odotettavissa, että lämpötilanvaihtelu vaikuttaa tuotteen mekaniikkaan. Esimerkiksi polttomoottoreissa palamisreaktion seurauksena syntyy paljon lämpöä. Käytetystä materiaalista riippuen ja osien sijainnista moottorin lämpimimpiin kohtiin riippuen lämpölaajenemisen aiheuttamat muutokset voivat olla huomattavia ja aiheuttaa mm. ongelmia tiivistyksen kanssa.

Esimerkkejä lämpölaajenemisen vaikutuksista mekaanisiin ratkaisuihin

- Pitkiä pakoputkistoja ei pidä suunnitella ilman joustoa tuovia mutkia.
- Sillat ja jotkut rautatiekiskot vaativat liikuntasauaman sallimaan lämpölaajenemisen liikkeen.
- Moottorien kylmäkäynti on epämääräistä suurten välysten takia ennen normaalin käyttölämpötilan saavuttamista.
- Hitsattavissa osissa lämpötilan muutokset aiheuttavat jännityksiä.

Lämpölaajenemista käytetään usein hyväksi myös erilaisten sovitteiden suunnittelussa. Esimerkiksi liian suureksi porattuihin reikiin voidaan asentaa korjausholkki,

jonka asennuksessa käytetään hyväksi lämpölaajenemisen periaatteita. Holkki voidaan jäähdyttää esimerkiksi nestemäisellä typellä (196 °C), jotta holkin koko saadaan mahdollisimman pieneksi ja asennus voidaan suorittaa ongelmitta. Samaa periaatetta käytetään myös istukkarenkaiden ja joidenkin laakereiden asennukseen.

Haittojen minimoimiseksi ratkaisun suunnittelussa täytyy analysoida mahdolliset lämpölaajenemisen vaikutukset. Ongelmilta vältytään suunnittelemalla tarpeeksi suuret välykset kaikille lämpeneville osille ja valitsemalla materiaalit, joiden lämpölaajenemiskerroin on mahdollisimman lähellä toisiaan. On tärkeää ottaa huomioon, että erittäin pitkät osat voivat laajeta huomattavasti jo pienemmilläkin lämpötilan muutoksilla. Materiaalin valinta on yksi tärkeimmistä keinoista jolla haittoja voidaan estää, sillä lämpölaajenemiskertoimet vaihtelevat suuresti eri materiaalien välillä. Jos rautaa ja alumiinia käytetään samassa kokoonpanossa, joka altistuu suurille lämpötilan vaihteluille, saattaa osien välinen tilavuuden muutos olla kriittinen ongelma kokoonpanon mekaniikassa. /4/

3.3 Valutuotteiden suunnittelu

Valaminen on tuotantoprosessi, jossa materiaali sulatetaan kiinteästä olomuodosta juoksevaksi sulaksi sulatusuunissa. Sulatettu materiaali kaadetaan muottiin, jossa materiaali jäähdyttyään muodostaa halutun muotin mukaisen muodon. Valamalla voidaan valmistaa erittäin monimutkaisia kappaleita, joita muuten olisi todella vaikea valmistaa kustannustehokkaasti. Valukappaleiden suunnittelussa täytyy kuitenkin ottaa huomioon valutekniikan monet rajoitukset.

Suunnittelun alussa täytyy valita valumateriaali. Materiaalin valinnassa täytyy ottaa ensiksi huomioon suunniteltavan kappaleen vaatimukset, mm. kovuus, murtolujuus ja koneistettavuus. Materiaalivaihtoehtoja on syytä vertailla tarkasti, sillä parhaiten vaatimuksia vastaavan materiaalin käyttö ei ehkä ole taloudellisesti kannattavaa.

Tyypillisimpiä valumateriaaleja on valualumiini, valurauta, valuteräs ja kuparimetallit. Materiaalin valinta vaikuttaa koko suunnitteluprosessiin ja siksi materiaalin

vaihto myöhemmässä vaiheessa projektia voi vaikuttaa merkittävästi kappaleen rakenteeseen. Eri materiaalit jähmettyvät eri tavoin ja yhdessä kappaleessa voi esiintyä monia jähmettymistyppejä. Yleensä eri jähmettymistyyppit saman kappaleen sisällä johtuvat erilaisista muodoista ja muotojen eriävistä paksuuksista.

Valumenetelmä valitaan kappaleen vaatimukseen sopivaksi. Kappaleen paino ja valmistettavan tuotteen sarjakoko ovat merkittäviä tekijöitä menetelmän valinnassa. Erilaisia valumenetelmiä ovat mm. hiekkavalu, tarkkuusvalu, harkkovalu, liukuvalu sekä painevalu. Eri menetelmissä käytetään erityyppisiä valumuotteja.

Ilman valumallia ei voida valmistaa valumuottia. Valumallin avulla suunnitellaan yksilöllinen muotti valmistettavalle osalle. Sarjavalamiseen sopivat kestopuotit koostuvat yleensä kaksiosaisesta, työkaluteräksestä valmistetusta muotista. Toista puoliskoa kutsutaan kiinteäksi ja toista liikkuvaksi puoleksi. Muottien puoliskoiden välille muodostuvaa tasoa kutsutaan jakotasoksi. Valumuottien valmistuksessa täytyy löytyä tietotaitoa, sillä muottien monimutkainen rakenne ja korkeat materiaali-vaatimukset tekevät niistä todella kalliita valmistaa.

Keernat ovat muotin osia, joiden avulla voidaan valmistaa vaativia muotoja. Suurin osa rei'istä ja lähes kaikki ontot piirteet vaativat keernojen käyttöä. Keernojen käyttö lisää kustannuksia ja monimutkaistaa valmistusta. Suunnittelijan täytyy miettiä tarkasti varsinkin suuria ja monimutkaisia osia suunnitellessa, onko kannattavampaa esimerkiksi jakaa suunniteltava kappale kahteen osaan, kuin käyttää keernoja.

Valutuotteiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kaikki kappaleen valmistukseen liittyvät osapuolet. Asiakkaan, valimon, työkalujen valmistajan sekä valuaihion koneistajan välillä on hyvä tehdä yhteistyötä. Kaikessa ei voi itse olla asiantuntija ja siksi onkin tärkeää konsultoida kappaleen eri tuotantovaiheiden asiantuntijoita. Vaikka valukappaleen konstruktiosuunnittelija toimisi yleisten valustandardien mukaan, voi esimerkiksi valimolla olla tuotantoteknisiä rajoituksia, jotka estävät suunnitellun mallin valmistamisen toivotulla tavalla.

Valukappaleen suunnittelua aloittaessa on hyvä esittää itselleen seuraavat kysymykset:

- Mitkä ovat kappaleen päämitat?
- Mitkä pinnat täytyy koneistaa?
- Missä sijaitsee kappaleen jakotaso?
- Mihin tarvitsee tehdä viisteitä keernoja varten?
- Mitä vaatimuksia koneistettavuudella on osassa?

Valuviat ovat mm. valukappaleen suunnittelun, muotin suunnittelun, sulattamisen, muotin kokoamisen tai valamisen aikana tapahtuneesta virheestä johtuvia puutteita valukappaleen rakenteessa. Vaikka tuotantokaaren yksittäinen henkilö ei pysty varmistamaan ettei valuvikoja tule, voi hän kuitenkin tehdä parhaansa suunnittelutyösäään ja ohjeistuksessaan niiden välttämiseksi. Tarkkojen vaatimusten asettaminen lopputuotteelle on yksi tärkeimmistä keinoista valuvikojen minimoimiseksi, sillä valuvika on periaatteeltaan laatuominaisuus. Kuitenkaan millään menetelmällä ei pysty valmistamaan täydellistä tuotetta. Laatusoaa määriteltäessä tulee kertoa valuvikojen osalta esimerkiksi nämä vaatimukset:

- ulkonäkövaatimukset – pinnanlaatu, huokoset
- lujuusvaatimukset – eniten rasitetut kohdat, sulan puhdistaminen
- koneistettavat pinnat – pintojen paikka ja niiden huokoisuus
- mitat ja muoto – kokonaismitat, siirtymäviat.

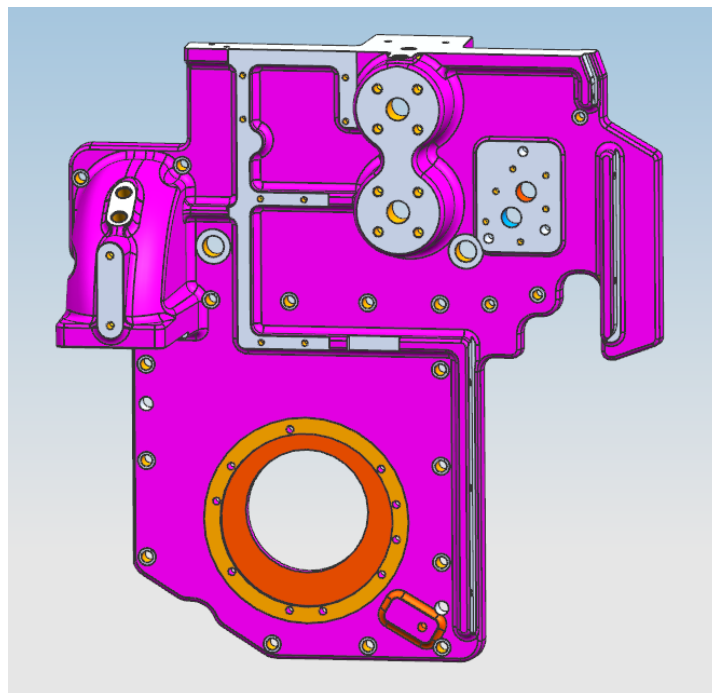
Valusuunnittelu ja valamistekniikka ovat laajoja aihealueita, jotka ovat kehittyneet nopeasti nykyisen teknologian ansiosta. 3D-mallinnus, valusimulaatio, sekä uudet ja tarkemmat tuotantoprosessit ovat tehneet pysyvän muutoksen valamisen maailmaan. Suunnittelu on jo teknisesti todella helppoa, mutta kuitenkin tietotaito valamisesta ja yhteistyö prosessin eri osapuolten kanssa on välttämätöntä suunnittelijalle, joka työskentelee valutuotteiden kanssa. /5/ /6/

4 ONGELMAN KUVAUS

Tässä osiossa tarkastellaan opinnäytetyön aihetta tarkemmin. Ensiksi esitellään työhön liittyvät tärkeimmät komponentit, jonka jälkeen perehdytään itse ongelmaan. Lopuksi eritellään työssä ilmenneitä suurimpia haasteita.

4.1 Multicover

Multicover on valuraudasta koneistamalla valmistettu osa, joka sijaitsee moottorin vapaapäässä (**Kuvio 1.**). Multicover on nimensä mukaisesti kansi, jolla on monia eri toimintoja. Multicover peittää nokka-akselin luukun vapaapäässä ja toimii tulppana side coverin alaosan öljykanaville. Multicoveriin kiinnitettävän vuotoöljysäiliön kautta tyhjennetään side coverin alaosan polttoöljykanavat. Polttoaine kulkee pumppuhyllylle multicoverin läpi kulkevista kanavista. Multicoveriin kiinnitetään myös vesiputki HT-vedelle ja käynnistysilman jakaja, jonka ohjaus tulee nokka-akselilta.

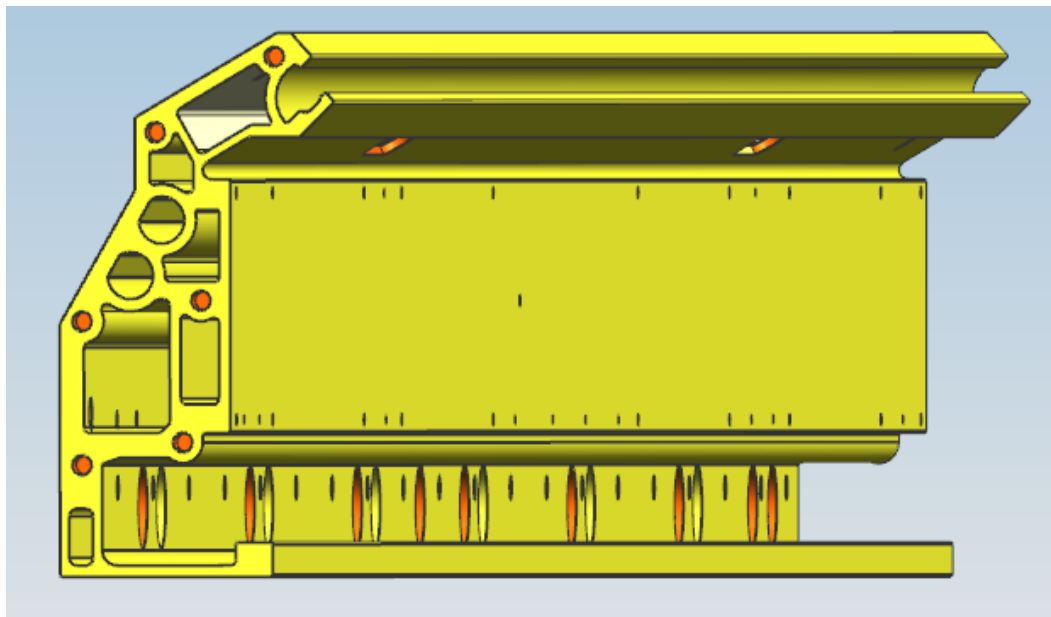


Kuvio 1. Multicover

4.2 Side coverin alaosa

Side coverin alaosa on moottorin kylkeen kiinnitetty alumiiniprofiili, jonka sisällä sijaitsevilla kanavilla kulkee polttoöljyä ja voiteluöljyä (**Kuvio 2.**). Öljy syötetään alumiiniprofiilin kanaviin pumppuhyllyllä sijaitsevasta polttoaineen ylivuotojärjestelmästä. Side coverin alaosan molemmissa päissä on pahvitiivisteellä varmistettu tiivistepinta.

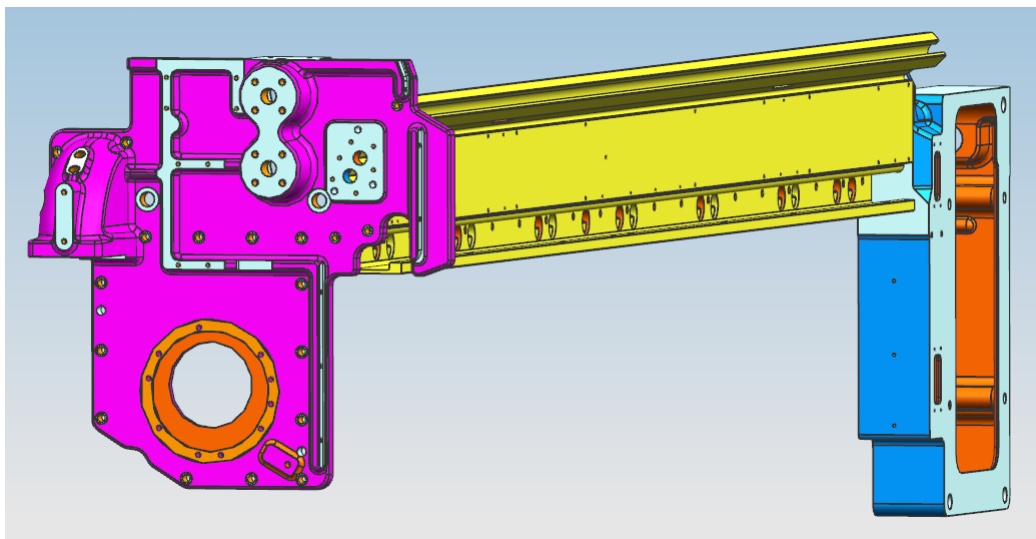
Side coverin alaosalla on myös muita hyödyllisiä tarkoituksia, esimerkiksi profiili toimii telineenä johdotuksille ja profiiliin kiinnitetään automaatiolaitteita. Alumiiniprofiiliin kiinnitetään itse side cover, joka on saranoilla oleva kansi, jolla suojataan kaikki sen alle jäävät komponentit.



Kuvio 2. Side coverin alaosa

Side coverin alaosan kanavien sisällä kulkee polttoöljyä ja voiteluöljyä. Wärtsilä on saanut raportteja asiakkailtaan sekä omalta huoltohenkilöstöltään, että side coverin alaosan ja multicoverin yhdistävästä tiivistepinnasta vuotaa öljyä. Vuotavan öljyn määrä on kuitenkin raportoitu olevan vain muutamia desilitroja päivässä. Multico-

ver on pultattu kiinni moottorin vapaapäähän ja siten multicover tulppaa side coverin alaosan pään (**Kuvio 3.**). Multicoverin ja side coverin alaosan välillä on pahvi-tiiviste, liitos on myös tiivistetty ulkopuolelta RTV-silikonilla.



Kuvio 3. Multicover, side coverin alaosa ja hammaspyörän suojan kehys

Moottorin lämmitessä side coverin alaosan kanavissa kulkeva öljy, sekä moottorilohkon johtama lämpö lämmittävät side coverin alaosaa aiheuttaen lämpölaajenemista. Side coverin alaosa on alumiinista pursotettu profiili. Alumiini omaa suuremman lämpölaajenemiskertoimen, kuin valuraudasta tehty moottorilohko, johon side cover on kiinnitetty. Siksi side coverin alaosa kasvaa pituutta enemmän suhteessa normaalilämpöisiin mittoihinsa.

Moottorin tuottaman lämmön vuoksi laajennut side coverin alaosa työntää multicoveria irti paikoiltaan, venyttäen multicoverin kiinnitykseen käytettyjä pultteja. Moottorin jäähtyessä ja lämmitessä muutamia kertoja, side coverin alaosan ja multicoverin väliseen tiivistepintaan syntyy rako, josta öljy pääsee vuotamaan moottorin kylkeä pitkin ulos.

On tiedossa, että side coverin alaosa painaa laajetessaan myös vauhtipäässä sijaitsevaa hammaspyörän suojan kehystä. Vauhtipään tiivistepinnan öljyvuodoista ei

oltu tehty havaintoja, mutta myös side coverin alaosan ja kehyksen välissä oli pahvitiiviste, joka täytyi vaihtaa sopivampaan ratkaisuun. Työhön siis sisältyivät myös pienet muutokset vauhtipään tiivistepinnan parantamiseksi.

Öljyvuoto on havaittu kentällä ja ongelma on tiedossa, mutta mitään tarkkaa raportointia tai mittauksia ei ole tehty öljyvuodon juurisyistä. Näistä syistä ongelman aiheuttava lämpölaajeneminen tutkittiin perinpohjaisesti. Lämpölaajenemisen suuruus laskettiin ja se tullaan mittaamaan myöhemmin laboratoriossa. Mittauksia suoritetaan, jotta saadaan selville osien laajeneminen, niiden liike ja liikkeen suunta. Kun osien lämpökäyttäytyminen ajossa on selvitetty, voidaan tietoa käyttää avuksi suunnitellessa sopivaa ratkaisua ongelmalle.

Ongelma tiivistyksen kanssa ei ole uusi, mutta siihen ei ole aikaisemmin kiinnitetty suurempaa huomiota. Öljyn vuotoa on vähäisen vuotomäärän takia pidetty aikaisemmin lähinnä kosmeettisena ongelmana. On kuitenkin mahdollista, että pahimassa tapauksessa multicoverin tiivistepinnasta vuotava polttoöljy voi kulkeutua jopa moottorin sisälle nokka-akselin luukusta voiteluöljyn sekaan, vaikka tästä ei ole ollut todisteita. Jos opinnäytetyössä ehdotetut muutokset ratkaisevat voiteluöljyn laimenemisen ongelmat, työn hyötyarvo nousee merkittävästi. Wärtsilä oli saanut vuodosta valituksia joiltakin asiakkailta ja nyt nähtiin, että oli sopiva aika löytää ratkaisu ongelmaan, joka ilmenee kaikenkokoisissa W32-moottoreissa.

4.3 Haasteet

Suurimmat haasteet tulivat itse ratkaisun kehittamisestä. Tiivistyksen täytyi olla varmaa ja esimerkiksi multicoveria muokkaamalla, tai jakamalla se kahteen eri osaan syntyy taas uusia tiivistepintoja. Tiivistepintojen kasvava määrä monimutkaistaa hyvän tiivistysratkaisun suunnittelemista.

Koska ratkaisu kuitenkin vaati rakenteellisia muutoksia joihinkin osiin ja moottorissa on suuri määrä osia, joiden fyysisiä mittoja eikä rakennetta voi muuttaa, täytyy tiivistyksen parantamisessa toimia tarkkojen rajoitusten sisällä. Oli myös välttämätöntä ottaa huomioon osien helppo valettavuus sekä koneistettavuus.

Tiivistepinnan parannukset kehitettiin tuotannossa oleviin uusiin moottoreihin. Samalla kuitenkin oli syytä miettiä, miten kentällä oleviin moottoreihin huoltohenkilöstö pystyy tekemään muutoksia. Suunnittelun tärkeimpiä seikkoja oli, että kentällä tehtävät muutoksen suunnitellaan mahdollisimman yksinkertaisiksi. Kentällä vallitsevat asennusolosuhteet ovat haastavat ja muutosten pitää tapahtua mahdollisimman nopeasti niin, että ne voidaan tehdä purkamatta kovin suurta osaa moottorista.

5 ONGELMAN TUTKIMUS

5.1 Suoritettavat mittaukset

Ongelman juurisyiden löytämiseksi tehtiin testaussuunnitelma suoritettaville mittauksille. Testaussuunnitelmaan kuuluu kokoonpanokuvat mittalaitteiden pidikkeistä ja niiden asennuksesta, sekä tarkat ohjeistukset mittauspisteiden paikoituksesta. Mittaukset suoritetaan W6L32E-moottorilla laboratoriossa. Testiohjelmaan kuuluu kaksi eri ajoa.

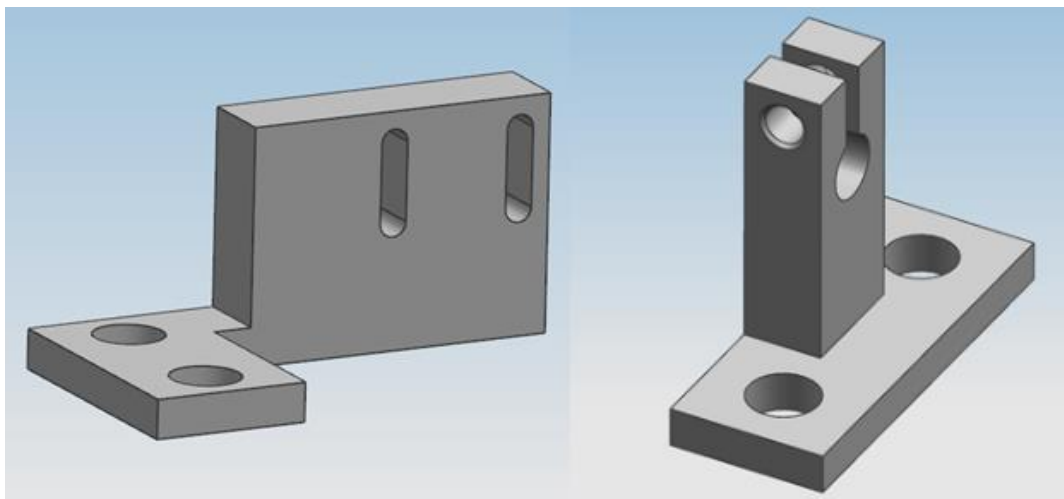
Ensimmäisessä testissä moottori käynnistetään kylmänä ja ajetaan, kunnes moottorin lämmöt nousevat maksimiin, jonka jälkeen moottori pysäytetään ja seurataan lämpötilan jäähtymistä. Ensimmäinen testi ajetaan vain kevyellä polttoöljyllä, koska raskaalla polttoöljyllä ajaminen vaatii moottorin sekä polttoaineen esilämmityksen. Toinen testi on muuten samanlainen, mutta siihen sisältyy myös esilämmitys. Tämä testi ajetaan kevyellä sekä raskaalla polttoöljyllä. Moottorin omista sensoreista tallennetaan laaja valikoima erityyppisiä arvoja, kuten jäähdytysvesien lämpötilat, öljynpaine, teho ja ahtopaine. Näitä tuloksia analysoimalla voidaan tarkentaa ongelman laajuutta.

Suoritettavat mittaukset:

- 9 kpl lämpötilamittauksia side coverista
- 3 kpl lämpötilamittauksia moottorilohkosta läheltä side coverin reunaa
- hammaspyörän suojan kehyksen liike alkuperäiseltä paikaltaan
- side coverin alaosan pituuden muutos mitattuna profiilin molemmista pädyistä
- multicoverin ja moottorilohkon välinen etäisyyden muutos.

5.1.1 Pitimet mitta-antureille

Kun tutkimukseen tarvittavat mittaukset oli saatu selville, mittauksien mahdollistamiseksi suunniteltiin 2 kpl pitimiä antureille (**Kuvio 4.**). Osien mallinnus, sekä koneistuspiirustusten teko toteutettiin Siemens NX 3D-CAD -suunnitteluohjelmistolla. Mittalaitteiden asennuksesta ja pitimien paikoituksesta tehtiin täydelliset koonpanopiirustukset laboratorioon asennuksen avustamiseksi.



Kuvio 4. Pidikkeet mittavälineille

5.1.2 Tarvittavat laitteet

Mittauslaitteet:

- 12 kpl termoparianturia
- 3 kpl Lika SME11 - lineaarista enkooderia
- 1 kpl Burster 8738-DK805R5 - lineaarinen siirtymäanturi.

Välineet:

- 1 kpl pidin lineaariselle enkooderille
- 1 kpl pidin siirtymäanturille
- aluslaatat ja pultit välineiden kiinnittämiseen.

5.2 Teoreettiset laskelmat

Side coverin alaosan pituus riippuu moottorin koosta. Teoreettinen lämpölaajeneminen on laskettu kaikille pituuksille (**Taulukko 2.**). Taulukon moottorityyppi-sarakkeessa V- ja rivimoottorit on eroteltu V ja L kirjaimin. Laskelmissa käytettiin arvioitua 60 °C lämpötilan muutosta, koska tarkemmat lämpötilat ilmenevät vasta laboratoriomittauksista. Laskelmista ilmenee, että lämpölaajenemisen suuruuksilla on suuria eroja erikokoisten moottoreiden välillä.

Moottorityyppi	Side coverin alkuperäinen pituus l (mm)	Side coverin pituuden lämpölaajeneminen Δl (mm)	Moottorilohkon lämpölaajeneminen side coverin pituudelta Δl (mm)	Erotus (mm)
6L32	3177,5	4,6	2,3	2,3
7L32	3667,5	5,3	2,6	2,6
8L32	4157,5	6,0	3,0	3,0
9L32	4647,5	6,7	3,3	3,3
12V32	3639	5,2	2,6	2,6
16V32	4759	6,9	3,4	3,4
18V32	5319	7,7	3,8	3,8
20V32	5879	8,5	4,2	4,2
Pituuden lämpölaajenemisen kaava			$\Delta l = \alpha l \Delta t$	
Alumiinin lineaarinen lämpölaajenemiskerroin α			0,000024	
Valuraudan lineaarinen lämpölaajenemiskerroin α			0,000012	
Lämpötilan muutos Δt (°C)			60	

Taulukko 2. Laskelmat side coverin alaosan lämpölaajenemiselle

Lämpöjännityksen kaavassa σ on lämpöjännitys, α on lämpötilakerroin, E on kimmokerroin ja Δt on lämpötilan muutos (2). Alumiiniprofiilin lämpölaajenemisen aiheuttaman lämpöjännityksen suuruudeksi saadaan 100,8 MPa, kun alumiinin lämpölaajenemiskerroin on $24 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, alumiinin kimmokerroin on $70 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ja lämpötilan muutoksena käytetään 60 °C muutosta.

$$\sigma = E\alpha\Delta t \quad (2)$$

Side coverin alaosaan syntyvä 100,8 MPa:n lämpöjännitys on laskelmien mukaan huomattava ja profiilin nurjahduksen vaara olisi olemassa, jos profiilia ei olisi kiinnitetty moottorilohkoon useista pisteistä koko pituudeltaan. Alumiinille on määritetty myötöraja, joka on kappaleeseen kohdistuva jännitys hetkellä, jolloin kappaleeseen on muodostunut 0,2 % pysyvä venymä. Tämä myötöraja on yleisimmille alumiinipainevaluseoksille noin 140 MPa. Jos lämpötilan muutos olisi 80 °C, lämpöjännityksen määräksi tulisi 134,4 MPa, joka on jo lähellä myötörajaa. /7/

5.3 Laboratoriomittaukset

Moottorilaboratorion W6L32E-moottorin huollon aikataulun venymisestä johtuen laboratoriomittausten tulokset ja niiden analyysi eivät ehtineet mukaan tähän raporttiin. Testiohjelma on kuitenkin suunniteltu valmiiksi ja mittaukset tullaan suorittamaan lähitulevaisuudessa. Vaikka side coverin alaosan pituuden laajeneminen on yksinkertaistettuna helppo laskea teoriassa, voidaan laskelmia käyttää vain suuntaa antavina ratkaisun haastavia teknisiä yksityiskohtia pohtiessa.

Voidaan kuitenkin hieman spekuloida, miten mittaustulokset vaikuttavat ratkaisun kehitykseen. Teoreettisissa laskelmissa laskettu moottorilohkon ja side coverin lämpölaajenemisen erotus kertoo kriittisen liikkeen määrän. Olettaen, että side coverin alaosan lämpötila pysyy samana koko profiilin pituudelta, voidaan päätellä, että pituuden lämpölaajeneminen lähtee profiilin keskikohdasta. Näiden oletusten perusteella laskettu laajentuma jakautuu tasaisesti molempiin päihin profiilia. Profiili on kiinnitetty alareunasta moottorilohkoon pulteilla koko matkaltaan, jonka voisi kuvitella rajoittavan lämpölaajenemisen liikettä.

6 RATKAISUN KEHITYS

6.1 Lähtökohdat

Ongelmaan perehdyttyä tiedettiin, että multicover täytyy jakaa kahteen osaan lämpölaajenemisen liikkeen sallimiseksi, joten tämä oli kehityksen lähtöpiste. Multicoverista erotettu osa nimettiin side coverin päätylaipaksi. Ennen omien mallien luomista ratkaisua luonnosteltiin karkeasti tekemällä muutoksia vanhoihin osiin, jotta ongelman yksityiskohdat saataisiin hahmotettua kunnolla.

6.2 Mallinnustyökalut

Ratkaisun kehityksen päätyökaluna käytettiin Siemens NX 3D-CAD -suunnitteluohjelmistoa. Projektissa käytetyt osat olivat alun perin mallinnettu I-DEAS -ohjelmistolla, joka on NX:n edeltäjä. Vanhoja malleja ei voinut suoraan muokata uudessa ympäristössä, joten ne muunnettiin uuteen ympäristöön Wärsilän sisäisiä työkaluja käyttäen. Vaikka I-DEAS -ympäristöstä NX:ään tuotujen mallien piirteet olivat muutoksen jälkeen muokattavissa, prosessin aikana mallien piirteiden ja niihin liittyvien luonnosten suhteet olivat muuttuneet todella sekavaksi ja se teki suurten muutosten tekemisestä vanhoihin malleihin haastavaa.

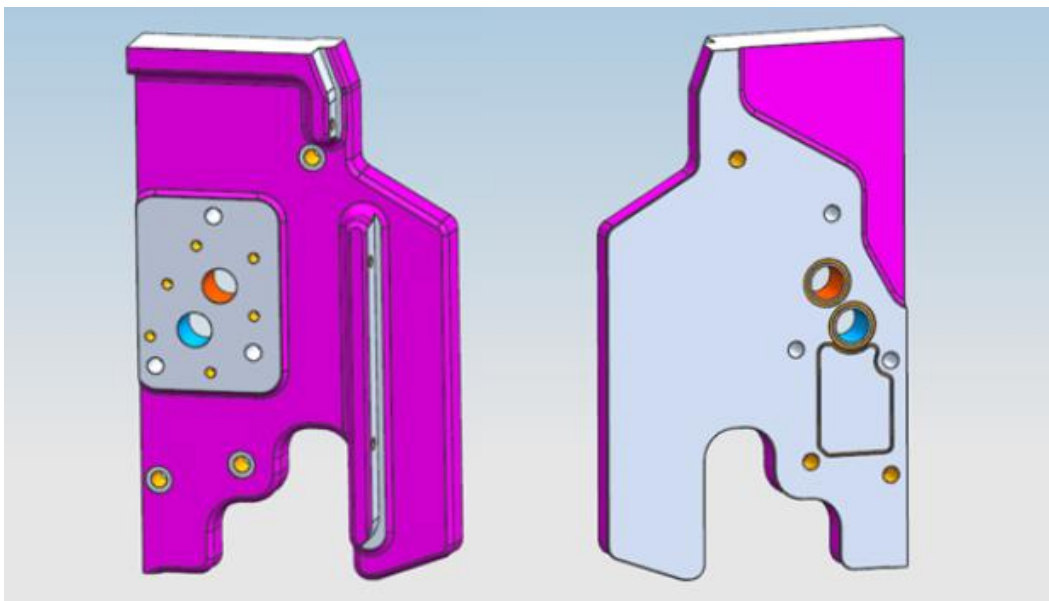
Kokoonpanomallien tehokas käyttö oli välttämätöntä kehitystyössä. Kokoonpanomallien avulla pystyi hahmottamaan helposti osien väliset suhteet ja kehityksen kokonaiskuvan. Jokaisen suuremman kehitysvaiheen jälkeen pohdittiin, miten muutokset vaikuttavat kokoonpanoon ja synnyttivätkö ne uusia ongelmia. Ideoiden hioimisessa ja ratkaisun ongelmakohtia etsiessä kokoonpanomallien käyttö oli korvaamaton työkalu.

6.3 Ratkaisun luonnostelu

Ensiksi mallinnusohjelmassa leikattiin multicoverista irti laippa, joka on kiinnitetty side coverin alaosan päätyyn (**Kuvio 5.**). Tästä ensimmäisestä luonnoksesta

ilmeni suurin osa tarvittavista piirteistä, mitä lopulliseen ratkaisuun tulisi. Ulkoreunan muodon täytyi pysyä samana, sillä se toimi tukena side coverin kansiosalle. Myös kaikkien reikien paikoitusten täytyi pysyä paikallaan. Laipan takapuolelle hahmoteltiin tiivisteuria o-renkaille, mutta tilan puutteesta johtuen idea hylättiin ja pohdittiin vaihtoehtoisia ratkaisua o-renkaille.

Multicoverin ja side coverin päätylaipan tiivistämisen takaamiseksi side coverin alaosa pidennettiin. Pidentämisen ansiosta päätylaipan muoto monimutkaistui ja se aiheutti lisää haasteita kehityksessä. Öljykanavien ulostuloreikien kohdalla on kiinnityspisteet vuotoöljysäiliölle. Vuotoöljysäiliö on aikaisemmin ollut erillinen osa, mutta kustannusten vähentämiseksi päätettiin integroida öljysäiliö side coverin alaosan päätylaippaan. Integroimisprosessissa voitiin helposti muuttaa säiliön mittoja, jotta säiliön tyhjennysaukko pysyi alkuperäisellä paikallaan kokoonpanossa.

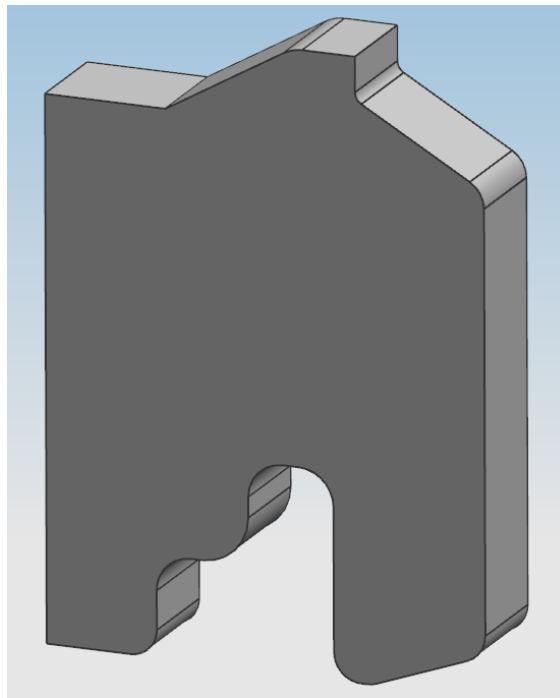


Kuvio 5. Multicoverista erotettu laippa

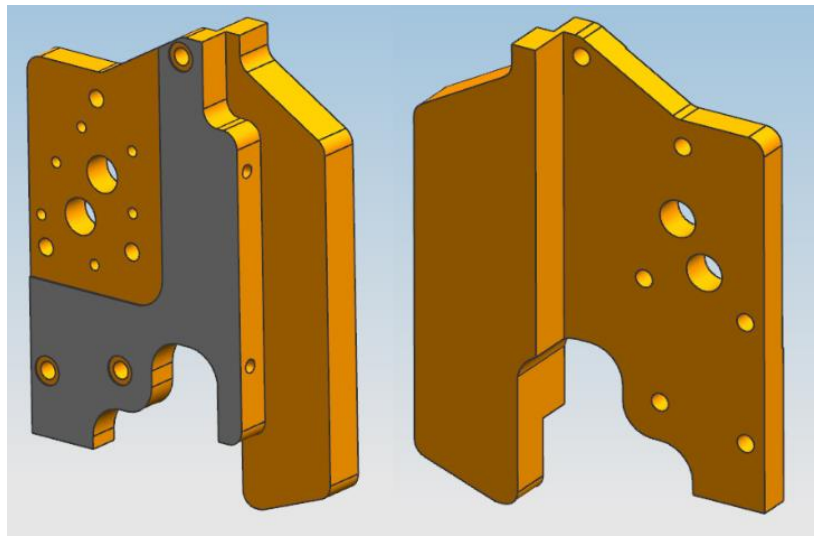
7 TULOKSET

7.1 Päätylaipan testimalli

Kehitetyn ratkaisun laboratoriotestejä varten on suunniteltu mallit side coverin päätylaipalle. Kappaleen ulkomuoto koneistusvaroineen leikataan 50 mm pelistä (**Kuvio 6.**). Leikatusta osasta koneistetaan laboratoriossa testattava päätylaippa (**Kuvio 7.**). Päätylaipan testimallissa käytetään vielä irrallista vuototankkia ja siksi tankkia ja sen kiinnitysreikiä varten on jätetty uloke.



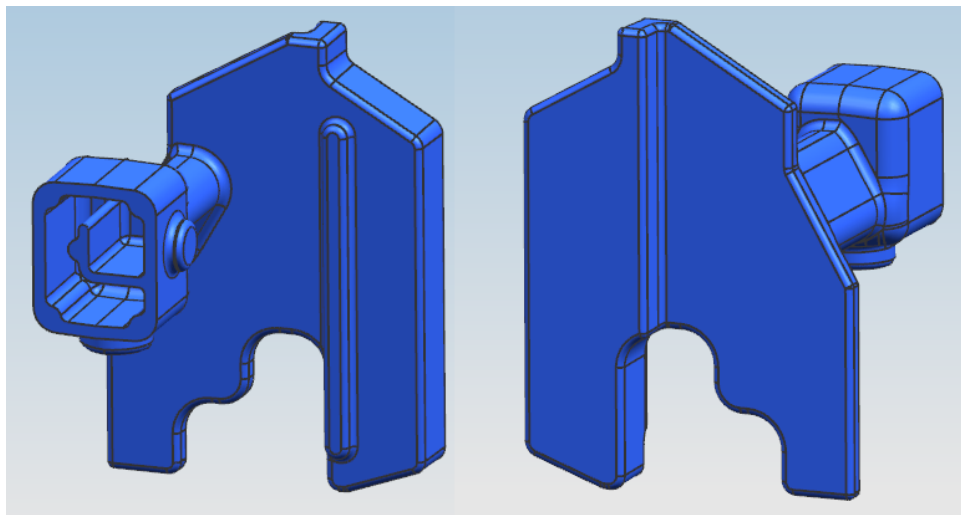
Kuvio 6. Polttoleikkausmalli



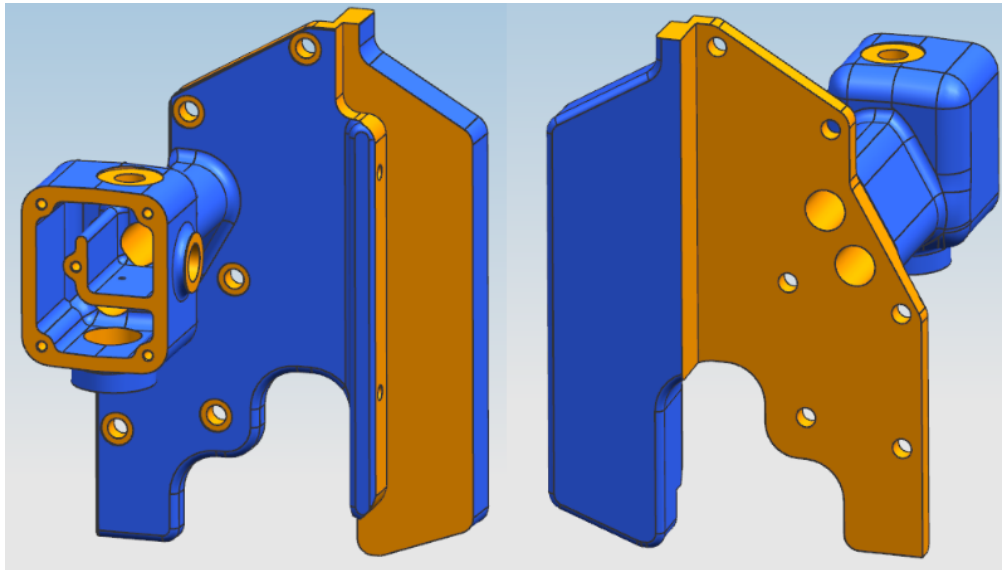
Kuvio 7. Koneistettu polttoleikkaukappale

7.2 Päätylaipan tuotantomallit

Ratkaisun käyttöönottoa varten mallinnettiin valumalli ja koneistusmalli päätylaipalle (**Kuvio 8.**) (**Kuvio 9.**). Suurin ero testimalliin on vuotosäiliön integrointi päätylaippaan. Valumallia suunniteltaessa oli tärkeää ottaa huomioon tarvittavat kulmien pyöristykset ja ulkoreunojen viisteet.



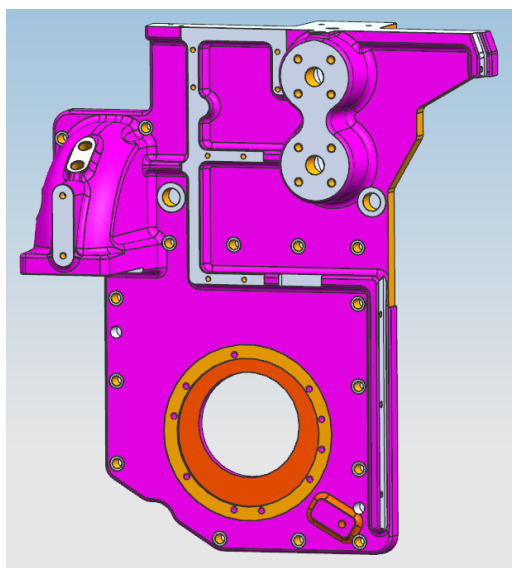
Kuvio 8. Valumalli



Kuvio 9. Koneistusmalli

7.3 Multicoverin muutokset

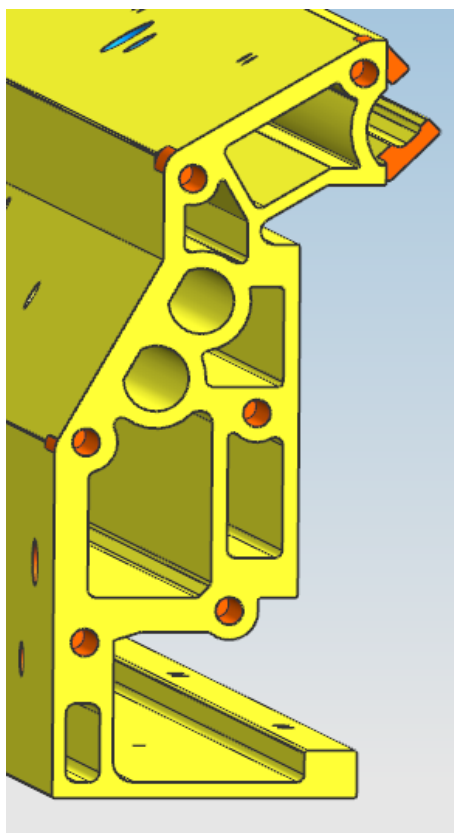
Multicoverista on leikattu pala side coverin alaosan muotojen mukaisesti (**Kuvio 10.**). Toista pumppuhyllyn öljyn tyhjennysreikää siirrettiin 10 mm pois leikkauspinnan tieltä. Testikappaleessa voidaan käyttää vanhan multicoverin valua ja koneistaa siihen tarvittavat muutokset.



Kuvio 10. Multicoverin testimalli

7.4 Side coverin alaosan muutokset

Side coverin alaosaa on pidennetty 28.5 mm, jotta tiivistys olisi mahdollista toteuttaa. Profiilin päähän jyrsitään lovi, jotta suunniteltu päätylaippa mahtuu paikalleen. Tiivistyspinnalla sijaitseviin profiilin kulmiin koneistetaan 10 mm pyöristykset, jotta vastakappaleen valmistuminen helpottuu (**Kuvio 11.**).



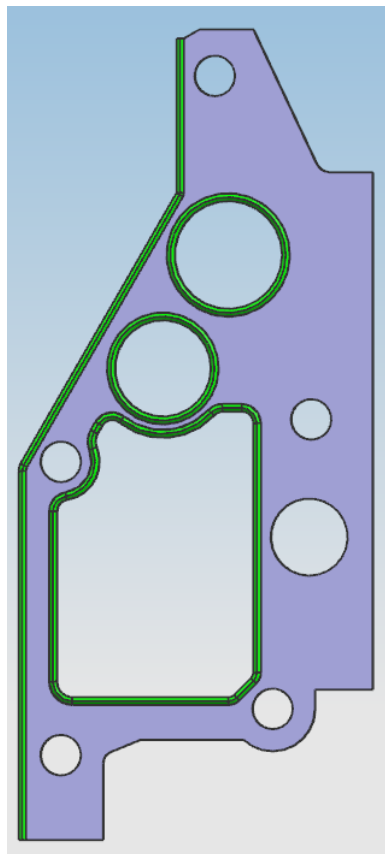
Kuvio 11. Side coverin alaosan vapaapään muutokset

7.5 Tiivistys

Pahvitiiviste ei sovellu periaatteiltaan kyseessä oleviin tiivistepintoihin ja siksi tiivistyksen parantamisen lähtökohtana oli pahvitiivisteestä eroon pääseminen, sekä tiivistyksen pitävyyden varmistaminen lämpölaajenemisen aiheuttamasta liikkeestä huolimatta. Side coverin alaosan ja päätylaipan väliseen tiivistykseen suunniteltiin pitkään käytettävän o-renkaita. Kyseinen ratkaisu olisi ollut toimiva öljykanavien

tiivistyksen varmistamiseksi, mutta muualle kokonaisuuteen huomattiin syntyvän aukkoja tiivistykseen.

Kehityksen aikana ilmeni, että side coverin alaosan ja multicoverin välille oli suunniteltu aikaisemmin peltitiiviste (**Kuvio 12.**). Suunniteltu tiiviste on 1,5 mm paksu pelti, jossa on vulkanoidut kumirenkaat öljykanavien reikien ympärillä tiivistystä varten. Vaikka peltitiivistettä ei ole aikaisemmin testattu ongelman yhteydessä ja sen käyttöön ottaminen vaatii investointeja kokoonpanolinjalla, valitsemalla peltitiivisteeseen voidaan side coverin alaosan molemmissa päissä käyttää samaa tiivistettä, eikä niiden käyttäminen vaadi lisäkoneistuksia tiivistettäviin osiin.



Kuvio 12. Peltitiiviste

Side coverin alaosan ja multicoverin välinen taso on pumppuhyllyn öljyaltaan nurkka. Pumppuhyllyllä on ajon aikana öljyä ja ilman hyvää tiivistystä öljy vuotaa ulos pumppuhyllyltä. Koska multicover jaettiin kahteen osaan, syntyi jakopintaan

uusi tiivistettävä pinta. Päätylaipan sisältävässä ratkaisussa multicover ja päätylaippa jakavat tiivistyspinnan, joten vaikka side coverin alaosa ja päätylaippa tiivistettäisiin pumppuhyllyn puolelta o-renkaalla, jää vielä yksi pinta tiivistettäväksi. Tärkeintä oli ottaa huomioon, että kyseinen tiivistepinta elää lämpölaajenemisen seurauksena 90 asteen kulmassa tiivistepintaan nähden.

Lopuksi tultiin siihen tulokseen, että paras mahdollinen ratkaisu on silikonimassan käyttäminen multicoverin ja side coverin alaosan välillä. Tiivistysmassan valinta ja tarvittavan tiivistemassan määrän arviointi on haastavaa ennen kuin mittaustestit on saatu suoritettua ja uuden päätylaipan testausta päästään suunnittelemaan. Tärkeimmät kriteerit silikonin valinnalle ovat öljyn kestävyys ja joustavuus. Taulukossa on vertailtu yksikomponenttisia huoneenlämmössä vulkanoituvia silikonimassoja (**Taulukko 3.**).

Tiiviste	Nahkoitumisaika	Venyvyys repeytyessä	Käyttölämpötila	Muuta
Loctite SI 5399	5 min	500 %	-50...+300 °C	Erittäin hyvä lämmönkesto, liitoksiin ja tiivistykseen.
Loctite SI 5910	40 min	400 %	-55...+200 °C	Tiiviste joustaville laipoille, työtetyille tai valetuille pinnoille, hyvä öljynkesto.
Loctite SI 5980	15 - 45 min	290 %	-50...+200 °C	Tasotiiviste, musta, ei haitta-merkintöjä, hyvä öljynkesto.
Loctite SI 5990	25 min	270 %	-60...+350 °C	Tasotiiviste, ei haitta-merkintöjä, hyvä öljynkestävyys, korkeisiin lämpötiloihin.
Loctite SI 5970	25 min	200 %	-50...+200 °C	Tasotiiviste, hyvä öljyn kestävyys, kohteisiin joissa paljon tärinää tai taipumista.
Kiilto RTV Red	15 min	25 %	-40...+250 °C	Tasotiiviste, hyvä tartunta kovalle pinnoille.

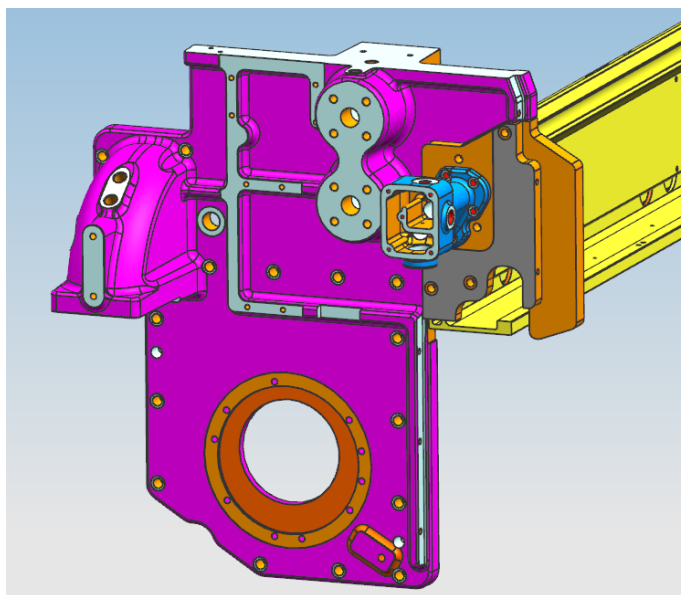
Taulukko 3. RTV-silikonien vertailu

Silikoni tarvitsee tarpeeksi suuren välyksen tiivistettävien kappaleiden välille kestääkseen useiden millimetrien jouston. Taulukossa esitetty venyvyys repeytyessä

on venyvyyden prosentuaalinen lukema, jonka jälkeen liimaliitos alkaa virumaan dynaamisen kuorman alla. Dynaaminen kuorma on hetkittäistä kuormaa, kun taas lämpölaajenemisen aiheuttama kuorma on staattista. Staattiselle kuormalle tarvittavan silikonikerroksen paksuutta laskiessa voidaan käyttää 25 % suuntaa antavaa raja-arvoa. Staattisen kuorman alla silikonin täydestä venyvyydestä voidaan siis käyttää 25 %. Venyvyys lasketaan silikonikerroksen paksuudesta. /8/

Esimerkiksi jos oletetaan, että lämpölaajenemisen suuruus on 2 mm liike 90° kulmassa tiivistuspintaan nähden ja tiivistämiseen käytetty silikonit on Loctite SI 5910, jonka venyvyys repeytyessä on 400 %. Lämpölaajenemisen aiheuttaman staattisen kuorman alla tuosta venyvyydestä voidaan käyttää vain 25 %, joten sallituksi venyvyydeksi jää 100 % silikonikerroksen paksuudesta. 2 mm liike vaatii siis vähintään 2 mm väläksen kappaleiden välille.

Testikokoonpanoon on jätetty 2 mm välys side coverin alaosan ja multicoverin välille (**Kuvio 13.**). Välyksen lisäksi multicoverin tiivistepintaan koneistetaan 5x5 mm kokoinen ura varmistamaan silikonin joustavuus. Tiivistysratkaisun teknisiä yksityiskohtia voidaan muuttaa lämpölaajenemista tarkentavien mittausten jälkeen.



Kuvio 13. Testikokoonpano

Side coverin alaosan ja moottorilohkon välissä käytetään tällä hetkellä Kiilto RTV Red -silikonimassaa, joka pursotetaan pinnoille ennen profiilin asennusta. Päätylaipan vuoksi vapaapäässä täytyy nyt kuitenkin käyttää eri silikonია. Koko profiilin matkalle kannattaa käyttää samaa tiivistemassaa, jotta erityyppiset aineet eivät sekoittuisi keskenään.

Sopivan silikonin valinnassa täytyy ottaa huomioon myös se, kuinka hyvin tiiviste kestää jatkuvaa kosketusta öljyn kanssa. Lopullista valintaa on mahdoton tehdä ennen laboratoriomittausten tulosten analysointia ja ennen mahdollisia eri silikonien pitävyyksien käytännön testauksia. Tällä hetkellä kuitenkin Loctite SI 5910 vaikuttaa ominaisuuksiltaan sopivimmalta vaihtoehdolta side coverin alaosan ja multico-verin väliseen joustavaan tiivistykseen.

8 YHTEENVETO

8.1 Tulokset ja johtopäätökset

Työn tuloksena on suunniteltu toimiva ratkaisu aiheena olleeseen ongelmaan. Opin-
näytetyön toteutus sujui haastavasta aiheesta huolimatta hyvin. Aiheen haastavuus-
den lisäksi työtä vaikeutti laboratoriomittausten myöhästyminen, koska alun perin
tarkoituksena oli kehittää sopiva ratkaisu ongelmaan mittaustulosten analyysiä
apuna käyttäen. Aikataulussa on pysytty niin hyvin, kuin olosuhteiden pakosta on
pystytty. Tiivistysratkaisua on kehitetty niin pitkälle, kuin tällä hetkellä on voitu ja
ratkaisu täyttää kaikki kehityksen alussa laaditun vaatimuslistan vaatimukset. Us-
kon, että ratkaisu otetaan jossain muodossa käyttöön tulevaisuudessa. Mittaussuun-
nitelma ja valmistelut moottorilaboratorion testejä varten on tehty ja kaikki tarvit-
tavat osat ratkaisua varten on mallinnettu.

8.2 Jatkokehitys

Kehitetyn ratkaisun osien valmistuspiirustukset ovat vielä viimeistelyä vailla, mutta
jatkan niiden tekoa henkilökohtaisesti opinnäytetyön aiheen jatkokehityksessä.
Myöskin mittaustulosten analyysi tehdään heti, kun mittaukset saadaan suoritettua.
Tässä raportissa esitettyä ratkaisuvaihtoehtoa multicoverin tiivistyksen paranta-
miseksi on helppo kehittää pidemmälle, kun ongelman juurisyitä tarkentavat mit-
taukset on saatu suoritettua.

LÄHTEET

/1/ Wärtsilä lyhyesti. Vuosikertomus 2014. Viitattu 18.3.2015 <http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2014/ar/tama-on-wartsila/wartsila-lyhyesti/>

/2/ Missio, Visio, Arvot ja Strategia, Wärtsilä. Viitattu 18.3.2015 <http://www.wartsila.fi/fi/about/yhtio-johto/strategia/MissionVision>

/3/ S. Bennet. 2010 Modern Diesel Technology: Diesel Engines, 1st Edition. Delmar

/4/ Thermal expansion, Wikipedia. Viitattu 19.3.2015 http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_expansion

/5/ Suunnittelijan perusopas, Valuatlas. Viitattu 27.4.2015 <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/index.html>

/6/ Valutuotteiden suunnitteluopas, Valuatlas. Viitattu 27.4.2015 http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/valutuotteiden_suunnitteluopas.pdf

/7/ Alumiiniseokset, Valuatlas. Viitattu 3.6.2015 http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/metals_aluminum_FI.pdf

/8/ H. Jänkäväära, Technical Customer Service Manager, Adhesive Technologies 21.5.2015. Henkel Norden Oy, Vantaa. Sähköpostikeskustelu.